

University of Groningen

Warps in disk galaxies

García Ruiz, Iñigo

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2001

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

García Ruiz, I. (2001). *Warps in disk galaxies*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Resumen en español

El origen de las galaxias

Se cree que el universo comenzó como una explosión enorme llamada el *Big Bang* hace unos 15 mil millones de años. Como resultado de ello, el universo se está expandiendo desde entonces, aunque su velocidad de expansión ha sido reducida por la atracción gravitatoria de la materia dentro de él. Gracias a la fuerza de la gravedad, que hace que la materia atraiga a la demás materia, poco después del Big Bang los átomos del universo se empezaron a aglomerar en distintos sitios, comenzando el proceso de formación galáctica.

De las observaciones se puede apreciar que hay dos tipos básicos de galaxias. El primer tipo son las llamadas *galaxias elípticas*, cuya forma se parece a un melón. El segundo tipo se asemejan a discos, muchas veces con brazos espirales y/o barras en el centro de la galaxia, y se llaman *galaxias de disco* (como la Vía Láctea). En la figura 1 se pueden apreciar ejemplos de ambos tipos de galaxias.

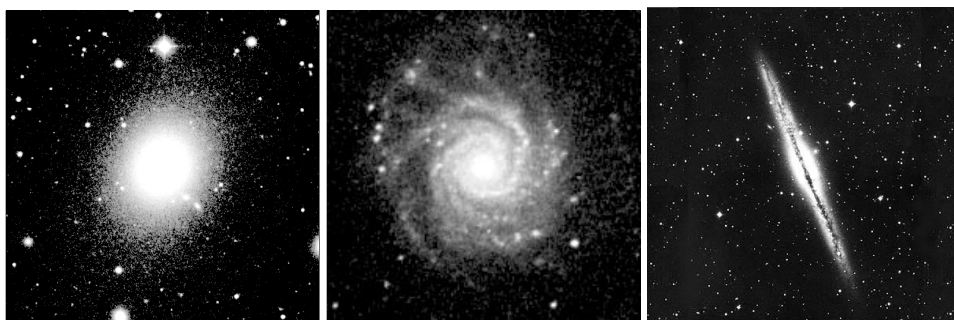


Figura 1— Ejemplos de galaxia elíptica (izquierda), galaxia de disco vista de cara (medio), y galaxia de disco vista de perfil (derecha). En la galaxia de disco de perfil se puede apreciar una banda de polvo debido a la absorción interestelar.

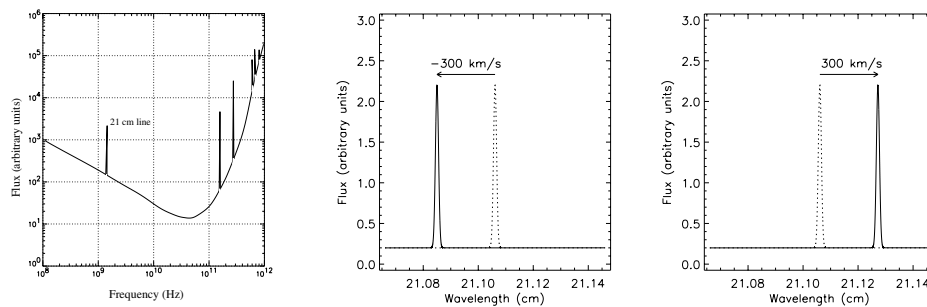


Figura 2— Línea de 21 cm del HI. El panel izquierdo muestra el espectro de una galaxia en las frecuencias de radio y microondas, donde la línea de 21 cm (o 1420 MHz) ha sido indicada. La frecuencia exacta de esta línea depende de la velocidad relativa del HI con respecto del observador (debido al efecto Doppler). Los paneles medio y derecho muestran cómo se desplazaría la longitud de onda de esta línea proveniente de HI que se acercase hacia nosotros o se alejase de nosotros con una velocidad relativa de 300 km/s.

Los constituyentes de las galaxias

La mayoría de la materia que observamos en el universo es hidrógeno, el átomo más simple de todos los elementos. Las galaxias comienzan a formarse cuando la materia en una región del universo atrae más y más hidrógeno. En el caso de una galaxia de disco, este hidrógeno toma la forma de un disco en rotación como el de la figura 1. La galaxia se vuelve progresivamente más compacta y masiva hasta que la densidad del hidrógeno (en estado gaseoso) se vuelve lo suficientemente alta como para comenzar a formar estrellas. Este proceso ocurre cuando las nubes de hidrógeno alcanzan densidades muy altas, fragmentándose en nubes más pequeñas y contrayéndose todavía más. Esto hace que la temperatura y la presión del gas aumenten, causando el comienzo de reacciones termonucleares: ha nacido una estrella. En el interior de las estrellas, el hidrógeno se convierte lentamente en helio, proceso que desprende una gran cantidad de energía. Esta energía es la que hace que las estrellas brillen.

Las estrellas emiten gran parte de su energía en la región visible del espectro electromagnético. Esta es la parte del espectro a la que el ojo humano es sensible (posibilitándonos ver las estrellas). El uso de telescopios ópticos (inventado en el siglo XVII en Holanda, y usado en astronomía por primera vez por Galileo) ha posibilitado a los astrónomos el estudio de estas estrellas con mucho más detalle de lo que permitiría el ojo humano, e incluso explorar galaxias externas.

Pero no todo el hidrógeno que colapsa para formar una galaxia es convertido en estrellas, gran parte permanece en forma gaseosa, especialmente en las afueras de la galaxia donde la densidad no es suficientemente alta como para iniciar la formación estelar. El hidrógeno neutro (formado por un

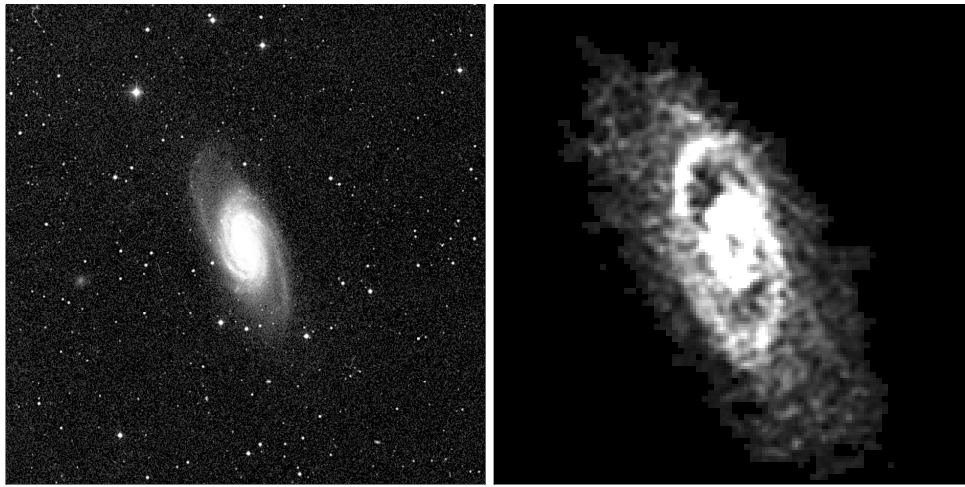


Figura 3— Imágenes de la misma galaxia a diferentes longitudes de onda. El panel izquierdo muestra la imagen óptica (estrellas), y el panel derecho la imagen en 21 cm (gas HI). Las dos imágenes han sido dibujadas a la misma escala para facilitar la comparación.

protón y un electrón, también llamado HI) tiene una línea de emisión importante a la longitud de onda de 21 cm (en la región de radio del espectro electromagnético). Esto significa que la emisión del átomo de hidrógeno tiene un marcado pico a 21 cm, como se puede observar en la figura 2.

Esta línea fue predicha teóricamente en 1944, y se utilizaron telescopios especiales (radiotelescopios) para poder medirla. La primera detección se consiguió en 1951. Al principio, los radiotelescopios eran simplemente antenas de radio, pero desde aquellos tiempos ha habido grandes mejoras en lo que respecta a sensibilidad y resolución espacial. Actualmente hay en el mundo varios conjuntos de grandes antenas de radio interconectadas entre sí (en la figura 6 se puede ver un radiotelescopio moderno). La figura 3 muestra una imagen de la misma galaxia en el óptico (luz estelar) y en la línea de 21 cm (emisión del gas).

Las galaxias también contienen lo que los astrónomos llaman polvo. Los constituyentes de este polvo (carbono, silicio, oxígeno...) son creados en el interior de las estrellas a lo largo de su vida, y expulsados al medio interestelar por medio de explosiones de supernova al final del ciclo vital de la estrella. El polvo absorbe radiación estelar, creando bandas de polvo en galaxias de disco (en la figura 1 se puede apreciar una de estas bandas).

Todos estos componentes (estrellas, gas y polvo) pueden detectarse directamente con nuestros telescopios. Sin embargo, la dinámica de las galaxias de disco sugiere que hay más materia en las galaxias que la que observamos. La frecuencia exacta de la línea de 21 cm depende de la velocidad del gas que la emite con respecto al observador (ver figura 2), lo que nos

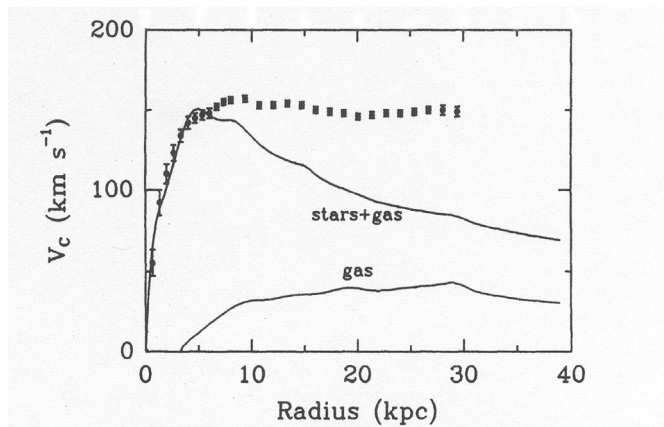


Figura 4— Comparación entre la curva de rotación observada (puntos) y la predicha por la ley de la gravedad a partir de las observaciones de estrellas y gas (línea). La discrepancia a grandes radios es evidente.

permite medir la velocidad de rotación del gas a cada radio desde el centro de la galaxia (lo que los astrónomos llaman la curva de rotación de una galaxia, ver figura 4). Es posible comparar la curva de rotación medida de esta manera, con la que predice la ley de la gravedad a partir de la distribución de materia observada en la galaxia. La figura 4 muestra dicha comparación para una galaxia de disco típica. La discrepancia entre ambas curvas a grandes radios es evidente, lo que la mayor parte de los astrónomos toman como evidencia de la existencia de *materia oscura* (materia que no emite luz) en formando un halo alrededor del disco de la galaxia. Se cree que la cantidad de materia oscura en el universo supera ampliamente la cantidad de materia visible, aunque su naturaleza (y según algunos astrónomos, incluso su existencia) es muy incierta.

¿Qué es esto de los warps?

Casi todos los discos estelares de las galaxias son muy delgados y planos. Cuando las partes externas de un disco están torcidas con respecto a las partes internas se dice que el disco está alabeado, o que tiene un alabeo (*warp* en inglés).

Las primeras observaciones de HI de nuestra galaxia (hechas hacia el final de la década de los 50) mostraron que el disco de la Vía Láctea está alabeado. El disco se tuerce hacia arriba en uno de sus lados y hacia abajo en el otro. Cuando se obtuvieron imágenes en HI de más galaxias de perfil, se pudo observar que este fenómeno es en realidad muy común, y se comenzó a buscar un mecanismo que pudiera explicar los alabeos. La figura 5 muestra la imagen de una galaxia alabeada. Normalmente, el disco es muy plano en las partes internas, y se empieza a alabear alrededor del final del disco

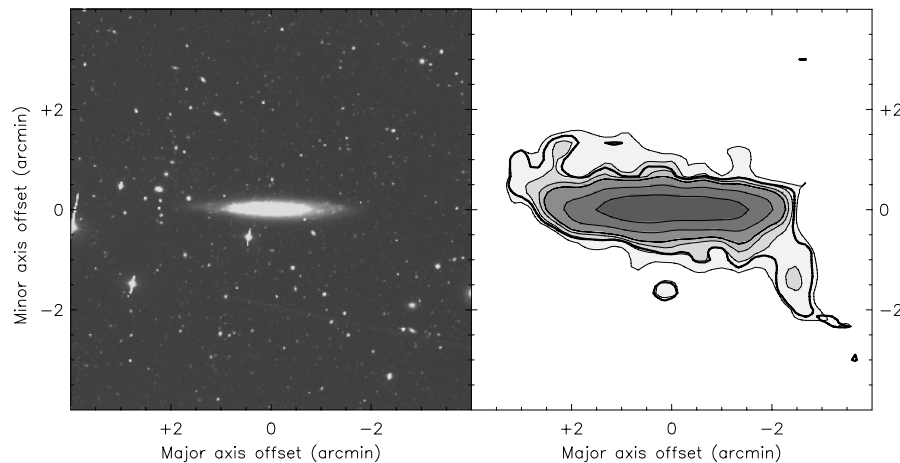


Figura 5— Imágenes en el óptico (izquierda) y línea de 21 cm de una galaxia vista de perfil. La parte interna del disco es plana tanto en el óptico como a 21 cm, pero el disco de HI se empieza a alabeo cerca del fin del disco óptico en forma del signo de la integral.

óptico, tomando la forma del signo matemático de la integral (\int) cuando se observa de perfil.

Se han propuesto varios modelos para explicar la existencia de los alabeos, pero todavía no está claro cómo se crean. A continuación resumo brevemente algunos de estos modelos.

- **Interacción:** Las galaxias no están aisladas en el espacio, tienen galaxias compañeras, e incluso galaxias satélite (galaxias más pequeñas que las orbitan como la luna orbita en torno a la tierra) que las influyen gravitacionalmente. El efecto de marea de estos compañeros puede generar un alabeo, aunque en general la masa de los compañeros es demasiado pequeña o están demasiado lejos para producir la amplitud de los alabeos que se observan.
- **Desalineación del halo con respecto al disco:** Un halo (de materia oscura) desalineado con respecto al disco crea fuerzas que causan que el disco trate de alinearse con el halo. Este proceso sucede relativamente deprisa en las partes centrales del disco, pero tarda bastante más en sus partes externas, produciendo un disco alabeado. Por supuesto, una vez que el todo el disco está alineado con el halo, el alabeo desaparece, y se necesita que el halo vaya constantemente cambiando su eje de simetría para dar cuenta de la alta frecuencia de los alabeos que se observa.

- **Campos magnéticos:** La dinámica galáctica normalmente no tiene en consideración las fuerzas causadas por los campos magnéticos, asumiendo que la gravedad es la fuerza dominante. Pero si el campo magnético del medio intergaláctico alcanza valores del orden de $3 \mu\text{G}^*$, podrían causar alabeos en galaxias como los observados.
- **Acreción intergaláctica:** El espacio intergaláctico no está completamente vacío, simplemente tiene una densidad muy pequeña. Una galaxia moviéndose con respecto a este medio experimenta fuerzas que pueden crear alabeos si el medio es suficientemente denso.

En esta tesis

La primera parte de este trabajo está dedicada a una profunda investigación de la posibilidad de que los alabeos estén producidos por galaxias satélite. El mayor problema de este modelo es que normalmente predice alabeos bastante más pequeños de los que se observan (por estar la galaxia satélite demasiado lejos, o ser poco masiva). Sin embargo, un estudio reciente sugiere un mecanismo para amplificar el efecto de las galaxias satélite mediante la influencia del halo de materia oscura en el que el disco está embebido. Cuando un satélite orbita a través del halo de la galaxia, atrae materia del halo creando una acumulación de masa detrás de él. Esta masa también contribuye a las fuerzas de marea, resultando en una amplificación de las fuerzas de marea que siente el disco. Si esta acumulación de masa es suficientemente fuerte y se encuentra a menor distancia del disco que el satélite, podría amplificar las fuerzas de marea sobre el disco hasta un factor 2-5, lo que arreglaría la discrepancia entre las predicciones y las observaciones.

Hemos realizado simulaciones de ordenador de N-cuerpos para determinar las amplificaciones que se pueden alcanzar con este efecto, y obtenemos amplificaciones del orden de 25%, bastante inferiores de lo esperado. Este resultado significa que, en general, las galaxias satélite no son suficientemente masivas como para generar los alabeos. En el caso de la Vía Láctea, tenemos un par de galaxias satélite llamadas las Nubes de Magallanes (visibles en hemisferio sur), y hemos calculado la dirección del disco donde causarían el máximo alabeo en la posición actual de su órbita. Encontramos que la dirección calculada difiere en unos 90° de la observada, lo que nos hace concluir que las Nubes de Magallanes no son las causantes del alabeo de la Vía Láctea.

La segunda parte de esta tesis es observacional. Aunque sabemos que las galaxias están alabeadas desde hace bastante tiempo, todavía no se dispone de una muestra de galaxias de perfil con datos de HI de alta resolución

* Como comparación, el campo magnético de la tierra es de $500,000 \mu\text{G}$



Figura 6— Radiotelescopio de Síntesis de Westerbork (Holanda), donde se realizaron todas las observaciones de HI presentadas en esta tesis.

para caracterizar e investigar este fenómeno. Con tal propósito, hemos obtenido datos de una muestra de 26 galaxias en el Radiotelescopio de Síntesis de Westerbork, en Holanda (ver foto en figura 6). Para cada galaxia hemos determinado la amplitud y asimetría del alabeo, y otras propiedades como la curva de rotación y el perfil de densidad superficial. También tenemos imágenes ópticas de nuestra muestra de galaxias, que nos posibilitan el detectar posibles galaxias compañeras y medir el tamaño del disco estelar.

El resultado principal de esta tesis es que todas las galaxias que poseen un disco de HI más extendido que el óptico están alabeadas. Esto significa que el perfil típico de una galaxia alabeada tiene gas *extra* en las partes externas comparado con el de una galaxia no alabeada. Nuestros datos indican además que el entorno tiene cierta influencia en los alabeos: las galaxias en ambientes ricos (cercanas a otras galaxias) están más alabeadas y poseen alabeos más asimétricos que galaxias más aisladas. Este resultado sugiere que la interacción con galaxias vecinas tiene influencia en los alabeos, aunque es improbable que pueda dar cuenta de todos ellos.

Sería de gran importancia el determinar el origen del gas *extra* que contienen las galaxias alabeadas: si originalmente formaba parte de un disco plano y algo lo ha perturbado, o si es gas que está todavía en el proceso de caer en la galaxia. Las galaxias no se forman de repente, y es posible que exista todavía gas HI cayendo en las partes externas de las galaxias. Si este gas cae en una dirección no contenida en el plano del disco interno, podría dar lugar a un alabeo.

Aunque el origen de los alabeos no es todavía conocido con certeza, y más investigación en este campo es necesaria, los datos y análisis presentados en esta tesis constituyen un paso importante en nuestra comprensión de los mismos.